

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B1)

(11) 特許番号

特許第6319601号
(P6319601)

(45) 発行日 平成30年5月9日(2018.5.9)

(24) 登録日 平成30年4月13日(2018.4.13)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 D	5/12	(2006.01)	GO 1 D	5/12	N
GO 1 D	5/16	(2006.01)	GO 1 D	5/16	E
GO 1 D	5/244	(2006.01)	GO 1 D	5/244	B

請求項の数 9 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2016-245884 (P2016-245884)	(73) 特許権者	000003067
(22) 出願日	平成28年12月19日(2016.12.19)		TDK株式会社
審査請求日	平成29年3月15日(2017.3.15)		東京都港区芝浦三丁目9番1号
		(74) 代理人	100107559
			弁理士 星宮 勝美
		(74) 代理人	100166257
			弁理士 城澤 達哉
		(74) 代理人	100076233
			弁理士 伊藤 進
		(72) 発明者	望月 慎一郎
			東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内
		審査官	公文代 康祐

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 角度センサの補正装置および角度センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

それぞれ検出対象の角度と対応関係を有する複数の検出信号を生成する検出信号生成部と、前記複数の検出信号に基づいて前記検出対象の角度と対応関係を有する角度検出値を生成する角度検出部とを備えた角度センサに用いられる補正装置であって、

前記補正装置は、

前記複数の検出信号に対して、補正情報によって内容が決定される補正処理であって、補正処理を行わない場合に比べて前記角度検出値の誤差を低減する補正処理を行う補正処理部と、

前記複数の検出信号に基づいて、前記角度検出値の誤差と対応関係を有する指標値を生成する指標値生成部と、

補正情報決定部とを備え、

前記補正情報決定部は、前記補正情報と対応関係を有する1つ以上の値を変数とした関数を用いて、前記指標値の推定値である推定指標値を生成すると共に、適応信号処理によって、前記指標値と前記推定指標値との差が小さくなるように、前記補正情報を決定することを特徴とする角度センサの補正装置。

【請求項 2】

前記補正情報決定部が前記推定指標値を生成するために用いる前記関数は、前記角度検出値を他の変数とするものであることを特徴とする請求項 1 記載の角度センサの補正装置

。

【請求項 3】

前記複数の検出信号は、第 1 の検出信号と第 2 の検出信号であり、

前記検出対象の角度が所定の周期で変化する場合、前記第 1 の検出信号は第 1 の理想成分を含み、前記第 2 の検出信号は第 2 の理想成分を含み、

前記第 1 の理想成分と前記第 2 の理想成分は、互いに 90° 異なる位相で、理想的な正弦曲線を描くように周期的に変化することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の角度センサの補正装置。

【請求項 4】

前記指標値生成部は、前記第 1 の検出信号の二乗と前記第 2 の検出信号の二乗との和の平方根を求める演算を含む演算を行って、前記指標値を生成することを特徴とする請求項 3 記載の角度センサの補正装置。

10

【請求項 5】

前記補正処理部は、前記複数の検出信号を、前記角度検出部において前記角度検出値を算出するための角度演算に用いられる第 1 の演算用信号および第 2 の演算用信号に変換し、

前記指標値生成部は、前記第 1 の演算用信号の二乗と前記第 2 の演算用信号の二乗との和の平方根を求める演算を含む演算を行って、前記指標値を生成することを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の角度センサの補正装置。

【請求項 6】

前記適応信号処理は、再帰的最小二乗アルゴリズムを用いることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の角度センサの補正装置。

20

【請求項 7】

前記検出対象の角度は、基準位置における磁界の方向が基準方向に対してなす角度であることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の角度センサの補正装置。

【請求項 8】

前記検出対象の角度の変化の範囲は 360° 未満であることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の角度センサの補正装置。

【請求項 9】

それぞれ検出対象の角度と対応関係を有する複数の検出信号を生成する検出信号生成部と、

30

前記複数の検出信号に基づいて前記検出対象の角度と対応関係を有する角度検出値を生成する角度検出部と、

請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の補正装置とを備えたことを特徴とする角度センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、検出対象の角度と対応関係を有する角度検出値を生成する角度センサにおける誤差を補正するための補正装置、ならびに補正装置を含む角度センサに関する。

【背景技術】

40

【0002】

近年、自動車におけるステアリングホイールまたはパワーステアリングモータの回転位置の検出等の種々の用途で、検出対象の角度と対応関係を有する角度検出値を生成する角度センサが広く利用されている。角度センサとしては、例えば磁気式の角度センサがある。磁気式の角度センサが用いられるシステムでは、一般的に、対象物の回転や直線的な運動に連動して方向が回転する回転磁界を発生する磁界発生部が設けられる。磁界発生部は、例えば磁石である。磁気式の角度センサにおける検出対象の角度は、例えば、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度である。

【0003】

角度センサとしては、互いに位相が 90° 異なる第 1 および第 2 の検出信号を生成する

50

検出信号生成部を有し、第1および第2の検出信号を用いた演算によって角度検出値を生成するものが知られている。検出信号生成部は、第1の検出信号を出力する第1の検出回路と、第2の検出信号を出力する第2の検出回路とを有している。第1および第2の検出回路の各々は、少なくとも1つの磁気検出素子を含んでいる。磁気検出素子は、例えば、磁化方向が固定された磁化固定層と、回転磁界の方向に応じて磁化の方向が変化する自由層と、磁化固定層と自由層の間に配置された非磁性層とを有するスピバルブ型の磁気抵抗効果素子（以下、MR素子とも記す。）を含んでいる。

【0004】

磁気式の角度センサでは、回転磁界の方向が一定の角速度で変化して検出対象の角度が所定の周期で変化する場合、第1および第2の検出信号の各々の波形は、理想的には、正弦曲線（サイン（Sine）波形とコサイン（Cosine）波形を含む）になる。しかし、各検出信号の波形は、正弦曲線から歪む場合がある。この場合、第1の検出信号は、理想的な正弦曲線を描くように変化する第1の理想成分と、それ以外の誤差成分とを含み、第2の信号は、理想的な正弦曲線を描くように変化する第2の理想成分と、それ以外の誤差成分とを含んでいる。各検出信号の波形が歪むと、角度検出値に誤差が生じる場合がある。以下、角度検出値に生じる誤差を、角度誤差と言う。角度センサには、この角度誤差を低減することが求められる。

10

【0005】

特許文献1には、角度等の検出に用いられるエンコーダから出力される位相のずれた2相正弦波状信号を補正する技術が記載されている。この技術では、2相正弦波状信号によって形成されるリサージュ波形に最も近似する近似楕円を最小二乗法によって求め、近似楕円をリサージュ波形から減算してなる差分信号に最も近似する近似3次高調波曲線を最小二乗法によって求め、求められた近似楕円および近似3次高調波曲線に基づいて2相正弦波状信号を補正する。

20

【0006】

特許文献2, 3には、回転部材と共に回転するエンコーダと、回転検出センサと、回転検出センサの検出信号に基づいて回転部材の回転速度を算出する演算器とを備えた回転速度検出装置において、演算器が、回転部材の回転速度算出に対する誤差となる、検出信号の変動の影響を除去するための適応フィルタを備えるようにした技術が記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2006-90738号公報

【特許文献2】特開2005-331496号公報

【特許文献3】特開2006-98068号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ところで、角度センサが用いられるシステムには、検出対象の角度の変化の範囲が360°未満であるものもある。

40

【0009】

特許文献1に記載された技術では、近似楕円を規定する複数のパラメータと、近似3次高調波曲線を規定する複数のパラメータは、リサージュ波形の一周分のデータから求められる。そのため、この技術は、検出対象の角度の変化の範囲が360°未満であるシステムには適用できないという問題点がある。

【0010】

また、角度センサにおける各検出信号に含まれる誤差成分は、主に、各検出信号に対する1つ以上の高調波に相当するものである。

【0011】

特許文献2, 3に記載された技術では、適応フィルタは、検出信号の変化の周期よりも

50

大きな周期の検出信号の変動を低減する。そのため、特許文献 2, 3 に記載された技術では、角度センサにおける各検出信号に含まれる誤差成分を低減することはできない。

【0012】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、角度センサが、検出対象の角度の変化の範囲が 360° 未満であるシステムに用いられる場合であっても、角度誤差を低減することができるようにした角度センサの補正装置および角度センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の角度センサの補正装置は、それぞれ検出対象の角度と対応関係を有する複数の検出信号を生成する検出信号生成部と、複数の検出信号に基づいて検出対象の角度と対応関係を有する角度検出値を生成する角度検出部とを備えた角度センサに用いられるものである。

10

【0014】

本発明の補正装置は、補正処理部と指標値生成部と補正情報決定部とを備えている。補正処理部は、複数の検出信号に対して、補正情報によって内容が決定される補正処理であって、補正処理を行わない場合に比べて角度検出値の誤差を低減する補正処理を行う。指標値生成部は、複数の検出信号に基づいて、角度検出値の誤差と対応関係を有する指標値を生成する。

【0015】

補正情報決定部は、補正情報と対応関係を有する 1 つ以上の値を変数とした関数を用いて、指標値の推定値である推定指標値を生成すると共に、適応信号処理によって、指標値と推定指標値との差が小さくなるように、補正情報を決定する。

20

【0016】

本発明の補正装置において、補正情報決定部が推定指標値を生成するために用いる関数は、角度検出値を他の変数とするものであってもよい。

【0017】

また、本発明の補正装置において、複数の検出信号は、第 1 の検出信号と第 2 の検出信号であってもよい。検出対象の角度が所定の周期で変化する場合、第 1 の検出信号は第 1 の理想成分を含み、第 2 の検出信号は第 2 の理想成分を含む。第 1 の理想成分と第 2 の理想成分は、互いに 90° 異なる位相で、理想的な正弦曲線を描くように周期的に変化する。この場合、指標値生成部は、第 1 の検出信号の二乗と第 2 の検出信号の二乗との和の平方根を求める演算を含む演算を行って、指標値を生成してもよい。

30

【0018】

また、本発明の補正装置において、補正処理部は、複数の検出信号を、角度検出部において角度検出値を算出するための角度演算に用いられる第 1 の演算用信号および第 2 の演算用信号に変換してもよい。この場合、指標値生成部は、第 1 の演算用信号の二乗と第 2 の演算用信号の二乗との和の平方根を求める演算を含む演算を行って、指標値を生成してもよい。

【0019】

また、本発明の補正装置において、適応信号処理は、再帰的最小二乗アルゴリズムを用いてもよい。

40

【0020】

また、本発明の補正装置において、検出対象の角度は、基準位置における磁界の方向が基準方向に対してなす角度であってもよい。

【0021】

また、本発明の補正装置において、検出対象の角度の変化の範囲は 360° 未満であってもよい。

【0022】

本発明の角度センサは、それぞれ検出対象の角度と対応関係を有する複数の検出信号を

50

生成する検出信号生成部と、複数の検出信号に基づいて検出対象の角度と対応関係を有する角度検出値を生成する角度検出部と、本発明の補正装置とを備えている。

【発明の効果】

【0023】

本発明の補正装置および角度センサでは、補正情報決定部が、適応信号処理によって、指標値と推定指標値との差が小さくなるように補正情報を決定し、補正処理部が、この補正情報によって内容が決定された補正処理を行う。これにより、本発明によれば、角度センサが、検出対象の角度の変化の範囲が360°未満であるシステムに用いられる場合であっても、角度誤差を低減することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

10

【0024】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る角度センサを含む角度センサシステムの概略の構成を示す斜視図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態における方向と角度の定義を示す説明図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係る角度センサの検出信号生成部の構成を示す回路図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態に係る補正装置および角度検出部の構成を示す機能ブロック図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態に係る補正装置の補正情報決定部の構成を示す機能ブロック図である。

20

【図6】本発明の第1の実施の形態に係る補正装置の補正処理部の構成を示す機能ブロック図である。

【図7】図3における1つの磁気検出素子の一部を示す斜視図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態における適応信号処理を示すフローチャートである。

【図9】シミュレーションにおいて変化させた検出対象の角度を示す波形図である。

【図10】シミュレーションによって求めた補正值 F_1 、 F_2 を示す波形図である。

【図11】シミュレーションによって求めた補正值 G_1 、 G_2 を示す波形図である。

【図12】シミュレーションによって求めた補正值 D を示す波形図である。

【図13】シミュレーションによって求めた補正值 G_3 を示す波形図である。

【図14】シミュレーションによって求めた角度誤差を示す波形図である。

30

【図15】本発明の第2の実施の形態に係る補正装置および角度検出部の構成を示す機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

[第1の実施の形態]

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。始めに、図1を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る角度センサを含む角度センサシステムの概略の構成について説明する。

【0026】

本実施の形態に係る角度センサ1は、検出対象の角度と対応関係を有する角度検出値 s を生成するものである。本実施の形態に係る角度センサ1は、特に、磁気式の角度センサである。図1に示したように、本実施の形態に係る角度センサ1は、方向が回転する磁界 MF を検出する。この場合、検出対象の角度は、基準位置における磁界 MF の方向が基準方向に対してなす角度である。図1に示した角度センサシステムは、角度センサ1と、磁界 MF を発生する手段の一例である円柱状の磁石5とを備えている。磁石5は、円柱の中心軸を含む仮想の平面を中心として対称に配置されたN極とS極とを有している。この磁石5は、円柱の中心軸を中心として回転する。これにより、磁石5が発生する磁界 MF の方向は、円柱の中心軸を含む回転中心 C を中心として回転する。

40

【0027】

基準位置は、磁石5の一方の端面に平行な仮想の平面(以下、基準平面と言う。)内に

50

位置する。この基準平面内において、磁石 5 が発生する磁界 M F の方向は、基準位置を中心として回転する。基準方向は、基準平面内に位置して、基準位置と交差する。以下の説明において、基準位置における磁界 M F の方向とは、基準平面内に位置する方向を指す。角度センサ 1 は、磁石 5 の上記一方の端面に対向するように配置される。

【 0 0 2 8 】

なお、本実施の形態における角度センサシステムの構成は、図 1 に示した例に限られない。本実施の形態における角度センサシステムの構成は、基準位置における磁界 M F の方向が角度センサ 1 から見て回転するように、磁界 M F を発生する手段と角度センサ 1 の相対的位置関係が変化する構成であればよい。例えば、図 1 に示したように配置された磁石 5 と角度センサ 1 において、磁石 5 が固定されて角度センサ 1 が回転してもよいし、磁石 5 と角度センサ 1 が互いに反対方向に回転してもよいし、磁石 5 と角度センサ 1 が同じ方向に互いに異なる角速度で回転してもよい。

10

【 0 0 2 9 】

また、磁石 5 の代わりに、1 組以上の N 極と S 極が交互にリング状に配列された磁石を用い、この磁石の外周の近傍に角度センサ 1 が配置されていてもよい。この場合には、磁石と角度センサ 1 の少なくとも一方が回転すればよい。

【 0 0 3 0 】

また、磁石 5 の代わりに、複数組の N 極と S 極が交互に直線状に配列された磁気スケールを用い、この磁気スケールの外周の近傍に角度センサ 1 が配置されていてもよい。この場合には、磁気スケールと角度センサ 1 の少なくとも一方が、磁気スケールの N 極と S 極が並ぶ方向に直線的に移動すればよい。

20

【 0 0 3 1 】

上述の種々の角度センサシステムの構成においても、角度センサ 1 と所定の位置関係を有する基準平面が存在し、この基準平面内において、磁界 M F の方向は、角度センサ 1 から見て、基準位置を中心として回転する。

【 0 0 3 2 】

角度センサ 1 は、それぞれ検出対象の角度 と対応関係を有する複数の検出信号を生成する検出信号生成部 2 を備えている。本実施の形態では特に、複数の検出信号は、第 1 の検出信号と第 2 の検出信号である。検出信号生成部 2 は、第 1 の検出信号を生成する第 1 の検出回路 1 0 と、第 2 の検出信号を生成する第 2 の検出回路 2 0 とを含んでいる。図 1 では、理解を容易にするために、第 1 および第 2 の検出回路 1 0 , 2 0 を別体として描いているが、第 1 および第 2 の検出回路 1 0 , 2 0 は一体化されていてもよい。また、図 1 では、第 1 および第 2 の検出回路 1 0 , 2 0 が回転中心 C に平行な方向に積層されているが、その積層順序は図 1 に示した例に限られない。第 1 および第 2 の検出回路 1 0 , 2 0 の各々は、磁界 M F を検出する少なくとも 1 つの磁気検出素子を含んでいる。

30

【 0 0 3 3 】

ここで、図 1 および図 2 を参照して、本実施の形態における方向と角度の定義について説明する。まず、図 1 に示した回転中心 C に平行で、図 1 における下から上に向かう方向を Z 方向とする。図 2 では、Z 方向を図 2 における奥から手前に向かう方向として表している。次に、Z 方向に垂直な 2 方向であって、互いに直交する 2 つの方向を X 方向と Y 方向とする。図 2 では、X 方向を右側に向かう方向として表し、Y 方向を上側に向かう方向として表している。また、X 方向とは反対の方向を - X 方向とし、Y 方向とは反対の方向を - Y 方向とする。

40

【 0 0 3 4 】

基準位置 P R は、角度センサ 1 が磁界 M F を検出する位置である。基準方向 D R は X 方向とする。前述の通り、検出対象の角度 は、基準位置 P R における磁界 M F の方向 D M が基準方向 D R に対してなす角度である。磁界 M F の方向 D M は、図 2 において反時計回り方向に回転するものとする。角度 は、基準方向 D R から反時計回り方向に見たときに正の値で表し、基準方向 D R から時計回り方向に見たときに負の値で表す。

【 0 0 3 5 】

50

角度 θ の変化の範囲は、 360° 以上であってもよいし、 360° 未満であってもよい。本実施の形態では特に、角度 θ の変化の範囲は、 360° 未満である。

【0036】

次に、図3を参照して、検出信号生成部2の構成について詳しく説明する。図3は、検出信号生成部2の構成を示す回路図である。前述の通り、検出信号生成部2は、第1の検出信号S1を生成する第1の検出回路10と、第2の検出信号S2を生成する第2の検出回路20とを含んでいる。

【0037】

磁界MFの方向DMが所定の周期で回転すると、検出対象の角度 θ は所定の周期Tで変化する。この場合、第1および第2の検出信号S1, S2は、いずれも、上記所定の周期Tと等しい信号周期で周期的に変化する。第2の検出信号S2の位相は、第1の検出信号S1の位相と異なっている。

10

【0038】

第1の検出回路10は、ホイートストンブリッジ回路14と、差分検出器15とを有している。ホイートストンブリッジ回路14は、電源ポートV1と、グランドポートG1と、2つの出力ポートE11, E12と、直列に接続された第1の対の磁気検出素子R11, R12と、直列に接続された第2の対の磁気検出素子R13, R14とを含んでいる。磁気検出素子R11, R13の各一端は、電源ポートV1に接続されている。磁気検出素子R11の他端は、磁気検出素子R12の一端と出力ポートE11に接続されている。磁気検出素子R13の他端は、磁気検出素子R14の一端と出力ポートE12に接続されている。磁気検出素子R12, R14の各他端は、グランドポートG1に接続されている。電源ポートV1には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポートG1はグランドに接続される。差分検出器15は、出力ポートE11, E12の電位差に対応する信号を第1の検出信号S1として出力する。

20

【0039】

第2の検出回路20の回路構成は、第1の検出回路10と同様である。すなわち、第2の検出回路20は、ホイートストンブリッジ回路24と、差分検出器25とを有している。ホイートストンブリッジ回路24は、電源ポートV2と、グランドポートG2と、2つの出力ポートE21, E22と、直列に接続された第1の対の磁気検出素子R21, R22と、直列に接続された第2の対の磁気検出素子R23, R24とを含んでいる。磁気検出素子R21, R23の各一端は、電源ポートV2に接続されている。磁気検出素子R21の他端は、磁気検出素子R22の一端と出力ポートE21に接続されている。磁気検出素子R23の他端は、磁気検出素子R24の一端と出力ポートE22に接続されている。磁気検出素子R22, R24の各他端は、グランドポートG2に接続されている。電源ポートV2には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポートG2はグランドに接続される。差分検出器25は、出力ポートE21, E22の電位差に対応する信号を第2の検出信号S2として出力する。

30

【0040】

本実施の形態では、磁気検出素子R11~R14, R21~R24の各々は、直列に接続された複数の磁気抵抗効果素子(MR素子)を含んでいる。複数のMR素子の各々は、例えばスピバルブ型のMR素子である。このスピバルブ型のMR素子は、磁化方向が固定された磁化固定層と、磁界MFの方向DMに応じて磁化の方向が変化する磁性層である自由層と、磁化固定層と自由層の間に配置された非磁性層とを有している。スピバルブ型のMR素子は、TMR素子でもよいし、GMR素子でもよい。TMR素子では、非磁性層はトンネルバリア層である。GMR素子では、非磁性層は非磁性導電層である。スピバルブ型のMR素子では、自由層の磁化の方向が磁化固定層の磁化の方向に対してなす角度に応じて抵抗値が変化し、この角度が 0° のときに抵抗値は最小値となり、角度が 180° のときに抵抗値は最大値となる。図3において、塗りつぶした矢印は、MR素子における磁化固定層の磁化の方向を表し、白抜き矢印は、MR素子における自由層の磁化の方向を表している。

40

50

【 0 0 4 1 】

第1の検出回路10では、磁気検出素子R11, R14に含まれる複数のMR素子における磁化固定層の磁化の方向はY方向であり、磁気検出素子R12, R13に含まれる複数のMR素子における磁化固定層の磁化の方向は-Y方向である。この場合、磁界MFのY方向の成分の強度に応じて、出力ポートE11, E12の電位差が変化する。従って、第1の検出回路10は、磁界MFのY方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を第1の検出信号S1として生成する。磁界MFのY方向の成分の強度は、検出対象の角度と対応関係を有する。

【 0 0 4 2 】

第2の検出回路20では、磁気検出素子R21, R24に含まれる複数のMR素子における磁化固定層の磁化の方向はX方向であり、磁気検出素子R22, R23に含まれる複数のMR素子における磁化固定層の磁化の方向は-X方向である。この場合、磁界MFのX方向の成分の強度に応じて、出力ポートE21, E22の電位差が変化する。従って、第2の検出回路20は、磁界MFのX方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を第2の検出信号S2として生成する。磁界MFのX方向の成分の強度は、検出対象の角度と対応関係を有する。

【 0 0 4 3 】

ここで、図7を参照して、磁気検出素子の構成の一例について説明する。図7は、図3に示した検出信号生成部2における1つの磁気検出素子の一部を示す斜視図である。この例では、1つの磁気検出素子は、複数の下部電極62と、複数のMR素子50と、複数の上部電極63とを有している。複数の下部電極62は図示しない基板上に配置されている。個々の下部電極62は細長い形状を有している。下部電極62の長手方向に隣接する2つの下部電極62の間には、間隙が形成されている。図7に示したように、下部電極62の表面上において、長手方向の両端の近傍に、それぞれMR素子50が配置されている。MR素子50は、下部電極62側から順に積層された自由層51、非磁性層52、磁化固定層53および反強磁性層54を含んでいる。自由層51は、下部電極62に電氣的に接続されている。反強磁性層54は、反強磁性材料よりなり、磁化固定層53との間で交換結合を生じさせて、磁化固定層53の磁化の方向を固定する。複数の上部電極63は、複数のMR素子50の上に配置されている。個々の上部電極63は細長い形状を有し、下部電極62の長手方向に隣接する2つの下部電極62上に配置されて隣接する2つのMR素子50の反強磁性層54同士を電氣的に接続する。このような構成により、図7に示した磁気検出素子は、複数の下部電極62と複数の上部電極63とによって直列に接続された複数のMR素子50を有している。なお、MR素子50における層51~54の配置は、図7に示した配置とは上下が反対でもよい。

【 0 0 4 4 】

前述の通り、検出対象の角度が前記所定の周期Tで変化する場合、第1および第2の検出信号S1, S2は、いずれも、前記所定の周期Tと等しい信号周期で周期的に変化する。検出対象の角度が前記所定の周期Tで変化する場合、第1および第2の検出信号S1, S2の各々は、理想的な正弦曲線(サイン(Sine)波形とコサイン(Cosine)波形を含む)を描くように周期的に変化する理想成分と、この理想成分以外の誤差成分とを含んでいる。以下、第1の検出信号S1の理想成分を第1の理想成分と呼び、第2の検出信号S2の理想成分を第2の理想成分と呼ぶ。第1および第2の理想成分は、それらの位相が互いに異なり且つ所定の位相関係を有するものである。本実施の形態では特に、第1の理想成分と第2の理想成分の位相は、互いに90°異なっている。

【 0 0 4 5 】

ここで、第1の理想成分をsinとし、第2の理想成分をcosとする。理想的には、第1の検出信号S1の波形はサイン波形になり、第2の検出信号S2の波形はコサイン波形になる。しかし、実際には、例えば、磁気検出素子やMR素子の作製の精度等に起因して、検出信号S1, S2にそれぞれオフセットが生じたり、検出信号S1, S2の振幅が互いに異なったり、検出信号S1, S2の位相差が90°からずれたりする場合があ

10

20

30

40

50

る。その結果、角度検出値 s に誤差が生じる。以下、角度検出値 s の誤差を角度誤差と言う。

【 0 0 4 6 】

また、例えば、MR素子50の磁化固定層53の磁化方向が磁界MF等の影響によって変動したり、MR素子50の自由層51の磁化方向が、自由層51の磁気異方性等の影響によって、磁界MFの方向DMと一致しなかったりすることに起因して、検出信号S1, S2の各々が、誤差成分を含む場合がある。この場合にも、角度検出値 s に角度誤差が生じる。

【 0 0 4 7 】

第1の検出信号S1の誤差成分の主要な成分は、第1の理想成分の第3高調波に相当する成分である。以下、この成分を、第1の第3高調波誤差成分S13と言う。また、第2の検出信号S2の誤差成分の主要な成分は、第2の理想成分の第3高調波に相当する成分である。以下、この成分を、第2の第3高調波誤差成分S23と言う。前述のように、第1の理想成分を \sin とし、第2の理想成分を \cos とした場合、第1および第2の第3高調波誤差成分S13, S23は、それぞれ下記の式(1)、(2)によって表すことができる。式(1)、(2)においてGは、実数である。

【 0 0 4 8 】

$$\begin{aligned} S_{13} &= G \cdot \sin(3\theta - 180^\circ) \\ &= G(-\sin 3\theta) \\ &= G(4\sin^3\theta - 3\sin\theta) \quad \dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{23} &= G \cdot \cos 3\theta \\ &= G(4\cos^3\theta - 3\cos\theta) \quad \dots (2) \end{aligned}$$

【 0 0 4 9 】

次に、図4を参照して、角度センサ1の、検出信号生成部2以外の部分について説明する。角度センサ1は、検出信号生成部2の他に、本実施の形態に係る補正装置3と、角度検出部4とを備えている。図4は、補正装置3および角度検出部4の構成を示す機能ブロック図である。補正装置3および角度検出部4は、例えば、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)、特定用途向け集積回路(ASIC)またはマイクロコンピュータによって実現することができる。角度検出部4は、複数の検出信号に基づいて検出対象の角度と対応関係を有する角度検出値 s を生成する。

【 0 0 5 0 】

補正装置3は、補正処理部33と、指標値生成部34と、補正情報決定部35とを備えている。補正処理部33は、複数の検出信号に対して、補正情報によって内容が決定される補正処理であって、補正処理を行わない場合に比べて角度検出値 s の角度誤差を低減する補正処理を行う。指標値生成部34は、複数の検出信号に基づいて、角度検出値 s の角度誤差と対応関係を有する指標値 y を生成する。補正情報決定部35は、補正情報を決定し、この補正情報を補正処理部33に与える。

【 0 0 5 1 】

本実施の形態では特に、複数の検出信号は、第1の検出信号S1と第2の検出信号S2である。補正装置3は、更に、アナログ-デジタル変換器(以下、A/D変換器と記す。)31, 32を備えている。補正装置3および角度検出部4では、デジタル信号が用いられる。A/D変換器31は、第1の検出信号S1をデジタル信号に変換する。A/D変換器32は、第2の検出信号S2をデジタル信号に変換する。補正処理部33は、A/D変換器31, 32によってデジタル信号に変換された第1および第2の検出信号S1, S2を、角度検出部4において角度検出値 s を算出するための角度演算に用いられる第1の演算用信号S1cおよび第2の演算用信号S2cに変換する。

【 0 0 5 2 】

指標値生成部34は、第1の検出信号S1の二乗と第2の検出信号S2の二乗との和の平方根を求める演算を含む演算を行って、指標値 y を生成する。なお、「第1の検出信号S1の二乗と第2の検出信号S2の二乗との和の平方根を求める演算を含む演算」という

10

20

30

40

50

表現は、演算は、第1の検出信号S1の二乗と第2の検出信号S2の二乗との和の平方根を求めた後に、所定の係数を掛けたり、所定の値を加減したりする場合も含むという趣旨である。これは、他の同様の表現についても同様である。本実施の形態では、指標値生成部34は、下記の式(3)によって、指標値yを生成する。

【0053】

$$y = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \quad \dots (3)$$

【0054】

補正情報決定部35は、補正情報と対応関係を有する1つ以上の値を変数とした関数を用いて、指標値yの推定値である推定指標値を生成すると共に、適応信号処理によって、指標値yと推定指標値との差が小さくなるように、補正情報を決定する。適応信号処理によって補正情報を決定する処理は、検出対象の角度が変化する状況の下で実行される。

【0055】

以下、図5を参照して、本実施の形態における補正情報決定部35の構成と動作について説明する。図5は、補正情報決定部35の構成を示す機能ブロック図である。補正情報決定部35は、推定誤差生成部351と、推定指標値生成部352とを含んでいる。推定誤差生成部351は、指標値yと推定指標値との差を生成する。以下、この指標値yと推定指標値との差を推定誤差と言う。推定指標値生成部352は、推定指標値を生成すると共に、適応信号処理によって、推定誤差が小さくなるように、補正情報を決定する。推定指標値生成部352は、所定のタイミングで、その時点における補正情報を補正処理部33に与える。

【0056】

本実施の形態では、補正情報は、補正值 F_1 、 F_2 、 G_1 、 G_2 、 D 、 G_3 である。補正值 F_1 は、第1の検出信号S1のオフセットを補正するための値である。補正值 F_2 は、第2の検出信号S2のオフセットを補正するための値である。補正值 G_1 は、第1の検出信号S1の振幅を補正するための値である。補正值 G_2 は、第2の検出信号S2の振幅を補正するための値である。補正值 D は、第1の検出信号S1の位相を補正するための値である。補正值 G_3 は、第1および第2の第3高調波誤差成分 S_{13} 、 S_{23} を低減するための値である。補正值 F_1 、 F_2 、 G_1 、 G_2 、 D 、 G_3 を用いた補正方法については、後で説明する。

【0057】

ここで、補正関連情報ベクトルXを、以下のように定義する。補正関連情報ベクトルXは、6つの成分 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 を含んでいる。本実施の形態では、成分 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 は、それぞれ補正值 F_1 、 F_2 、 G_1 、 G_2 、 D 、 G_3 と等しい。従って、6つの成分 $x_1 \sim x_6$ は、補正情報と対応関係を有する。6つの成分 $x_1 \sim x_6$ は、補正情報決定部35が推定指標値を生成するために用いる前記関数の変数である「補正情報と対応関係を有する1つ以上の値」に対応する。以下、補正值 F_1 、 F_2 、 G_1 、 G_2 、 D 、 G_3 の集合を、補正情報 x_i と言う。本実施の形態では、補正情報 x_i は、6つの成分 $x_1 \sim x_6$ の集合でもある。補正関連情報ベクトルXは、下記の式(4)によって表される。

【0058】

$$X^T = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6] \quad \dots (4)$$

【0059】

本実施の形態では、補正情報決定部35が推定指標値を生成するために用いる前記関数を、 $z^T X$ とする。関数 $z^T X$ は、6つの成分 $x_1 \sim x_6$ を変数とする関数である。zは、6つの成分 $z_1 \sim z_6$ を含むベクトルであり、下記の式(5)によって表される。

【0060】

$$z^T = [z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6] \quad \dots (5)$$

【0061】

成分 $z_1 \sim z_6$ は、それぞれ下記の式(6A)～(6F)によって表される。

【0062】

10

20

30

40

50

$$z_1 = \sin s \quad \dots (6A)$$

$$z_2 = \cos s \quad \dots (6B)$$

$$z_3 = (1 - \cos 2s) / 2 \quad \dots (6C)$$

$$z_4 = (1 + \cos 2s) / 2 \quad \dots (6D)$$

$$z_5 = (\sin 2s) / 2 \quad \dots (6E)$$

$$z_6 = \cos 4s \quad \dots (6F)$$

【0063】

成分 $z_1 \sim z_6$ は、いずれも角度検出値 s を変数とする関数である。従って、関数 $z^T X$ は、前述のように6つの成分 $x_1 \sim x_6$ を変数とする関数であると共に、角度検出値 s を他の変数とする関数である。推定指標値生成部352は、補正情報 x_i と角度検出値 s を用いて、式(6A)～(6F)によって、成分 $z_1 \sim z_6$ を算出し、関数 $z^T X$ を計算して、推定指標値を算出する。角度検出値 s の生成方法については、後で説明する。

10

【0064】

推定誤差生成部351は、指標値生成部34によって生成された指標値 y と、推定指標値生成部352によって生成された推定指標値を用いて、推定誤差 e を生成する。推定誤差 e は、下記の式(7)によって表される。

【0065】

$$e = y - z^T X \quad \dots (7)$$

【0066】

本実施の形態では、推定誤差 e を小さくする適応信号処理には、再帰的最小二乗(RLS)アルゴリズムが用いられる。以下、図8を参照して、本実施の形態における適応信号処理について詳しく説明する。図8は、本実施の形態における適応信号処理を示すフローチャートである。適応信号処理では、検出対象の角度 θ が変化する状況の下、図8に示したステップS101～S106からなる一連の処理が繰り返し実行される。

20

【0067】

以下、N回目(Nは2以上の整数)に実行される上記一連の処理について説明する。まず、ステップS101において、指標値 y を生成する。ステップS101は、指標値生成部34によって実行される。ここで、N回目に生成される指標値を、記号 y_N で表す。指標値生成部34は、第1および第2の検出信号 S_1, S_2 を用いて、前述の式(3)によって、指標値 y_N を生成する。

30

【0068】

次に、ステップS102において、推定指標値を生成する。ステップS102は、推定指標値生成部352によって実行される。推定指標値は、関数 $z_N^T X_{N-1}$ を計算することによって算出される。なお、 z_N は、N回目に生成されるベクトル z を表している。また、 X_{N-1} は、N-1回目に生成された補正関連情報ベクトル X の推定値を表している(ステップS105参照)。推定指標値生成部352は、角度検出部4によって生成された角度検出値 s を用いて、前述の式(6A)～(6F)によって、 z_N の6つの成分 $z_1 \sim z_6$ を算出する。また、 X_{N-1} は、推定指標値生成部352によって保持されている。推定指標値生成部352は、上記の z_N と X_{N-1} を用いて、関数 $z_N^T X_{N-1}$ を計算することによって、推定指標値を生成する。

40

【0069】

次に、ステップS103において、推定誤差 e_N を生成する。ステップS103は、推定誤差生成部351によって実行される。ここで、N回目に生成される推定誤差 e_N を、記号 e_N で表す。推定誤差生成部351は、指標値生成部34によって生成された指標値 y_N と、推定指標値生成部352によって生成された推定指標値とを用いて、 e_N を生成する。 e_N は、下記の式(8)によって表される。

【0070】

$$e_N = y_N - z_N^T X_{N-1} \quad \dots (8)$$

【0071】

次に、ステップS104において、以下のようにして、RLSアルゴリズムで用いられ

50

るゲイン L を更新する。ステップ $S104$ は、推定指標値生成部 352 によって実行される。本実施の形態では、ゲイン L は、6つの成分を含むベクトルである。ここで、 N 回目に更新されたゲイン L を、記号 L_N で表す。推定指標値生成部 352 は、前記の z_N を用いて、下記の式(9)によって、 L_N を生成し、これを保持する。

【0072】

$$L_N = P_{N-1} z_N / (\quad + z_N^T P_{N-1} z_N) \quad \dots (9)$$

【0073】

なお、式(9)において、 P_{N-1} は、RLSアルゴリズムで用いられる共分散行列 P であって、 $N-1$ 回目に更新された共分散行列 P を表している(ステップ $S106$ 参照)。本実施の形態では、共分散行列 P は、6行6列の行列である。また、式(9)において、 \quad は、忘却係数を表している。 \quad は、0より大きく1以下の値である。 P_{N-1} と \quad は、推定指標値生成部 352 によって保持されている。

10

【0074】

次に、ステップ $S105$ において、以下のようにして、補正関連情報ベクトル X の推定値を更新する。ステップ $S105$ は、推定指標値生成部 352 によって実行される。ここで、 N 回目に更新された補正関連情報ベクトル X の推定値を、記号 X_N で表す。推定指標値生成部 352 は、前記の X_{N-1} および L_N と、推定誤差生成部 351 によって生成された \quad_N を用いて、下記の式(10)によって、 X_N を生成し、これを保持する。

【0075】

$$X_N = X_{N-1} + L_N \quad_N \quad \dots (10)$$

20

【0076】

推定指標値生成部 352 は、補正関連情報ベクトル X の推定値 X_N に基づいて、補正情報 x_i を決定する。具体的には、 X_N の6つの成分 $x_1 \sim x_6$ を、補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ とする。推定指標値生成部 352 が補正情報 x_i を補正処理部 33 に与えるタイミングについては、後で説明する。

【0077】

次に、ステップ $S106$ において、以下のようにして、共分散行列 P を更新する。ステップ $S106$ は、推定指標値生成部 352 によって実行される。ここで、 N 回目に更新された共分散行列 P を、記号 P_N で表す。推定指標値生成部 352 は、前記の z_N と P_{N-1} と \quad を用いて、下記の式(11)によって、 P_N を生成し、これを保持する。

30

【0078】

$$P_N = \{ P_{N-1} - P_{N-1} z_N z_N^T P_{N-1} / (\quad + z_N^T P_{N-1} z_N) \} / \quad \dots (11)$$

【0079】

次に、ステップ $S107$ において、補正装置 3 が、適応信号処理を終了するか否かを判定する。ステップ $S107$ において終了すると判定された場合(Y)は、適応信号処理を終了する。適応信号処理は、例えば、終了を指示する信号が補正装置 3 に入力されることによって終了する。ステップ $S107$ において終了しないと判定された場合(N)は、ステップ $S101$ に戻る。

【0080】

次に、適応信号処理において1回目に実行される一連の処理について説明する。1回目に実行される一連の処理の内容は、基本的には、上述の N 回目に実行される一連の処理の内容と同じである。ただし、1回目に実行される一連の処理では、ステップ $S104$ とステップ $S106$ において、 P_{N-1} の代わりに、共分散行列 P の初期値 P_0 を用いる。初期値 P_0 としては、例えば、6行6列の単位行列が用いられる。推定指標値生成部 352 は、1回目に更新されたゲイン L_1 として、初期値 P_0 を用いて、前述の式(9)によって、 L_1 を生成する。また、推定指標値生成部 352 は、1回目に更新された共分散行列 P_1 として、初期値 P_0 を用いて、前述の式(11)によって、 P_1 を生成する。

40

【0081】

また、1回目に実行される一連の処理では、ステップ $S105$ において、 X_{N-1} の代わりに、補正関連情報ベクトル X の初期値 X_0 を用いる。初期値 X_0 としては、例えば、下記

50

の式(12)で表される X_0 が用いられる。

【0082】

$$X_0^T = [0, 0, 1, 1, 0, 0] \quad \dots (12)$$

【0083】

推定指標値生成部352は、1回目に更新された推定値 X_1 として、初期値 X_0 を用いて、前述の式(10)によって、 X_1 を生成し、これを保持する。

【0084】

次に、推定指標値生成部352が補正情報 x_i を補正処理部33に与えるタイミングについて説明する。補正装置3が動作を開始したとき、推定指標値生成部352は、補正情報 x_i として、補正情報 x_i の初期値を補正処理部33に与える。補正情報 x_i の初期値は、具体的には、初期値 X_0 の6つの成分である。その後、推定指標値生成部352は、適応信号処理における一連の処理によって補正情報 x_i が更新される毎に、更新された補正情報 x_i を補正処理部33に与えてもよい。

10

【0085】

あるいは、推定指標値生成部352は、適応信号処理における一連の処理の実行回数 N が、予め決められた回数 N_p に達した時点で、その時点における補正情報 x_i を補正処理部33に与えてもよい。 N_p は、例えば、 $x_1 \sim x_6$ がそれぞれ最適な値に収束すると予想される、一連の処理の実行回数に基づいて決定される。

【0086】

N が N_p に達した後は、推定指標値生成部352は、適応信号処理における一連の処理によって補正情報 x_i が更新される毎に、更新された補正情報 x_i を補正処理部33に与えてもよい。あるいは、推定指標値生成部352は、 N を0にリセットすると共に新たな N_p を設定して、 N が新たな N_p に達した時点で、その時点における補正情報 x_i を補正処理部33に与えてもよい。

20

【0087】

次に、図6を参照して、補正処理部33の構成と動作について説明する。図6は、補正処理部33の構成を示す機能ブロック図である。補正処理部33は、規格化部331と、位相補正部332と、高調波補正部333とを含んでいる。規格化部331、位相補正部332および高調波補正部333は、それぞれ、推定指標値生成部352から最後に補正処理部33に与えられた補正情報 x_i を用いて、所定の補正処理を実行する。

30

【0088】

規格化部331は、補正值 F_1, G_1 を用いて、第1の検出信号 S_1 のオフセットと振幅を補正する。また、規格化部331は、補正值 F_2, G_2 を用いて、第2の検出信号 S_2 のオフセットと振幅を補正する。具体的には、例えば、規格化部331は、下記の式(13)によって、第1の検出信号 S_1 を補正して、信号 S_1a を生成し、下記の式(14)によって、第2の検出信号 S_2 を補正して、信号 S_2a を生成する。

【0089】

$$S_1a = (S_1 - F_1) / G_1 \quad \dots (13)$$

$$S_2a = (S_2 - F_2) / G_2 \quad \dots (14)$$

【0090】

位相補正部332は、信号 S_1a, S_2a の位相補正を行って、位相差が 90° の信号 S_1b, S_2b を生成する。本実施の形態では、第2の検出信号 S_2 と対応関係を有する信号 S_2a の位相を補正せずに、第1の検出信号 S_1 と対応関係を有する信号 S_1a の位相を補正することによって、信号 S_1b, S_2b の位相差を 90° にする。信号 S_1a の位相補正は、補正值 D を用いて行われる。具体的には、例えば、位相補正部332は、下記の式(15)によって、信号 S_1a の位相を補正して、信号 S_1b を生成する。また、位相補正部332は、下記の式(16)のように、信号 S_2a を、信号 S_2b とする。

40

【0091】

$$S_1b = S_1a - (D \cdot 2 / 360) \cdot S_2a \quad \dots (15)$$

$$S_2b = S_2a \quad \dots (16)$$

50

【 0 0 9 2 】

高調波補正部 3 3 3 は、補正值 G_3 を用いて、信号 $S 1 b$, $S 2 b$ に含まれる第 1 および第 2 の第 3 高調波誤差成分 $S 1 3$, $S 2 3$ を低減する。具体的には、例えば、高調波補正部 3 3 3 は、まず、下記の式 (1 7) によって、第 1 の第 3 高調波誤差成分 $S 1 3$ の推定値 $S 1 3 c$ を生成し、下記の式 (1 8) によって、第 2 の第 3 高調波誤差成分 $S 2 3$ の推定値 $S 2 3 c$ を生成する。

【 0 0 9 3 】

$$S 1 3 c = (4 \cdot S 1 b^3 - 3 \cdot S 1 b) \cdot G_3 \quad \dots (1 7)$$

$$S 2 3 c = (4 \cdot S 2 b^3 - 3 \cdot S 2 b) \cdot G_3 \quad \dots (1 8)$$

【 0 0 9 4 】

なお、式 (1 7) 、 (1 8) は、それぞれ、前述の式 (1) 、 (2) に基づいて導かれたものである。

【 0 0 9 5 】

高調波補正部 3 3 3 は、次に、信号 $S 1 b$ から推定値 $S 1 3 c$ を減算することによって第 1 の演算用信号 $S 1 c$ を生成し、信号 $S 2 b$ から推定値 $S 2 3 c$ を減算することによって第 2 の演算用信号 $S 2 c$ を生成する。具体的には、高調波補正部 3 3 3 は、下記の式 (1 9) 、 (2 0) によって、第 1 および第 2 の演算用信号 $S 1 c$, $S 2 c$ を生成する。

【 0 0 9 6 】

$$S 1 c = S 1 b - S 1 3 c \quad \dots (1 9)$$

$$S 2 c = S 2 b - S 2 3 c \quad \dots (2 0)$$

【 0 0 9 7 】

次に、角度検出値 s の生成方法について説明する。角度検出部 4 は、補正処理部 3 3 によって変換された第 1 および第 2 の演算用信号 $S 1 c$, $S 2 c$ に基づいて角度検出値 s を算出する。具体的には、例えば、角度検出部 4 は、下記の式 (2 1) によって、 s を算出する。

【 0 0 9 8 】

$$s = \text{atan} (S 1 c / S 2 c) \quad \dots (2 1)$$

【 0 0 9 9 】

s が 0° 以上 360° 未満の範囲内では、式 (2 1) における s の解には、 180° 異なる 2 つの値がある。しかし、 $S 1 c$, $S 2 c$ の正負の組み合わせにより、 s の真の値が、式 (2 1) における s の 2 つの解のいずれであるかを判別することができる。角度検出部 4 は、式 (2 1) と、上記の $S 1 c$, $S 2 c$ の正負の組み合わせの判定により、 0° 以上 360° 未満の範囲内で s を求める。

【 0 1 0 0 】

次に、本実施の形態に係る補正装置 3 の効果について説明する。本実施の形態では、補正情報決定部 3 5 が、適応信号処理によって、推定誤差 θ_i が小さくなるように補正情報 x_i を決定し、補正処理部 3 3 が、この補正情報 x_i によって内容が決定された補正処理を行う。本実施の形態では、指標値 y のデータの範囲が、第 1 および第 2 の検出信号 $S 1$, $S 2$ の 1 周期分のデータに相当する範囲よりも少ない場合であっても、適応信号処理を実行することによって、補正情報 x_i を決定することができる。従って、本実施の形態によれば、角度センサ 1 が、検出対象の角度 θ の変化の範囲が 360° 未満であるシステムに用いられる場合であっても、適応信号処理を実行し、補正情報 x_i を決定することによって、角度誤差を低減することができる。

【 0 1 0 1 】

また、本実施の形態では、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理の実行には、第 1 および第 2 の検出信号 $S 1$, $S 2$ の 1 周期分のデータに相当するデータを保持する必要がない。これにより、本実施の形態によれば、効率よく補正情報 x_i を決定することができる。

【 0 1 0 2 】

ところで、第 1 および第 2 の検出信号 $S 1$, $S 2$ が、それぞれ理想的な正弦曲線から歪

10

20

30

40

50

む場合、その要因は複数存在し得る。検出信号 S_1 , S_2 が、それぞれ理想的な正弦曲線から歪むと、角度検出値 s に角度誤差が生じる。本実施の形態では、補正情報 x_i は、複数の補正值 F_1 , F_2 , G_1 , G_2 , D , G_3 である。この複数の補正值は、複数の要因による検出信号 S_1 , S_2 の歪みを低減するためのものである。本実施の形態によれば、適応信号処理を実行することによって、複数の補正值は、それぞれ最適な値に収束する。従って、本実施の形態によれば、検出信号 S_1 , S_2 を歪ませる要因が複数存在する場合であっても、角度誤差を低減することができる。

【 0 1 0 3 】

なお、角度誤差は、角度センサ 1 の使用時に、例えば温度に応じて変化し得る。本実施の形態では、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理は、角度センサ 1 の使用時であっても実行することができる。従って、本実施の形態によれば、温度等によって角度誤差が変化し得る環境であっても、角度センサ 1 の使用時に、適宜、適応信号処理を実行し、補正情報 x_i を決定することによって、角度誤差を低減することができる。

【 0 1 0 4 】

以下、本実施の形態に係る補正装置 3 と角度検出部 4 の動作を確認したシミュレーションの結果を参照して、本実施の形態の効果について更に詳しく説明する。シミュレーションでは、補正值 F_1 , F_2 , G_1 , G_2 , D , G_3 のそれぞれについて目標値を設定し、これらの目標値を用いて決定される関数であって、検出対象の角度 θ を変数とした関数を用いて、第 1 および第 2 の検出信号 S_1 , S_2 を生成した。ここで、第 1 および第 2 の検出信号 S_1 , S_2 に基づいて算出される角度検出値を初期角度検出値と言ひ、記号 p で表す。シミュレーションでは、初期角度検出値 p に角度誤差が生じると共に、補正值 F_1 , F_2 , G_1 , G_2 , D , G_3 がそれぞれの目標値に一致した場合には、第 1 および第 2 の演算用信号 S_{1c} , S_{2c} に基づいて算出される角度検出値 s には角度誤差が生じないという条件を満たすように、上記の目標値を設定して、第 1 および第 2 の検出信号 S_1 , S_2 を生成した。具体的には、補正值 F_1 , F_2 , D , G_3 のそれぞれの目標値を 0 以外の値にし、補正值 G_1 , G_2 のそれぞれの目標値を 1 以外の値にして、これらの目標値を用いて、第 1 および第 2 の検出信号 S_1 , S_2 を生成した。シミュレーションでは、図 8 に示した適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定することによって、補正值 F_1 , F_2 , G_1 , G_2 , D , G_3 がそれぞれの目標値に収束するかどうかを確認した。

【 0 1 0 5 】

なお、初期角度検出値 p は、式 (2 1) における s , S_{1c} , S_{2c} を、それぞれ p , S_1 , S_2 に置き換えることによって算出される。初期角度検出値 p の角度誤差は、補正処理を行わない場合に角度検出値 s に生じる角度誤差に相当する。

【 0 1 0 6 】

以下、シミュレーションの具体的な内容について説明する。シミュレーションでは、所定の手順が繰り返し実行される。以下、所定の手順の実行回数を記号 n で表す。 n の値の変化に応じて、検出対象の角度 θ は所定の規則に従って変化し、それに伴って第 1 および第 2 の検出信号 S_1 , S_2 も変化する。 n が 1 以上 3 9 9 以下の範囲内では、所定の手順の内容は、以下の通りである。まず、補正情報 x_i の初期値を用いて、図 6 を参照して説明した補正処理を実行し、第 1 および第 2 の検出信号 S_1 , S_2 を第 1 および第 2 の演算用信号 S_{1c} , S_{2c} に変換した。シミュレーションでは、補正值 F_1 , F_2 , D , G_3 のそれぞれの初期値を 0 とし、補正值 G_1 , G_2 のそれぞれの初期値を 1 とした。次に、第 1 および第 2 の演算用信号 S_{1c} , S_{2c} を用いて、式 (2 1) によって、角度検出値 s を算出した。次に、角度検出値 s と検出対象の角度 θ の差を求めることによって、角度誤差を算出した。

【 0 1 0 7 】

n が 4 0 0 以上 2 0 0 0 以下の範囲内では、所定の手順の内容は、以下の通りである。まず、図 8 に示したステップ S_{101} ~ S_{106} からなる一連の処理を実行して、補正情報 x_i を決定した。次に、この補正情報 x_i を用いて、図 6 を参照して説明した補正処理を実行し、第 1 および第 2 の検出信号 S_1 , S_2 を第 1 および第 2 の演算用信号 S_{1c} , S_{2c} を

10

20

30

40

50

2c に変換した。次に、第1および第2の演算用信号 S_{1c} , S_{2c} を用いて、式(21)によって、角度検出値 s を算出した。次に、角度検出値 s と検出対象の角度 θ の差を求めることによって、角度誤差を算出した。

【0108】

図9は、シミュレーションにおいて変化させた検出対象の角度 θ を示している。図9において、横軸は前記 n を示し、縦軸は検出対象の角度 θ を示している。図9に示したように、シミュレーションでは、検出対象の角度 θ を 0° 以上 200° 以下の範囲内で増減を繰り返すように変化させた。

【0109】

図10は、シミュレーションによって求めた補正值 F_1 , F_2 を示している。図10において、横軸は前記 n を示し、縦軸は補正值 F_1 , F_2 を示している。また、図10において、符号81を付した曲線は、補正值 F_1 を示している。符号82を付した曲線は、補正值 F_2 を示している。符号91を付した破線の直線は、補正值 F_1 の目標値を示している。符号92を付した破線の直線は、補正值 F_2 の目標値を示している。

10

【0110】

図10において、 n が1以上399以下の範囲内の補正值 F_1 , F_2 は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行しない場合の補正值 F_1 , F_2 すなわち補正值 F_1 , F_2 の初期値を表している。また、 n が400以上2000以下の範囲内の補正值 F_1 , F_2 は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行した場合の補正值 F_1 , F_2 を表している。図10に示したように、上記処理を実行することによって、補正值 F_1 は補正值 F_1 の目標値に収束し、補正值 F_2 は補正值 F_2 の目標値に収束している。 n が600以上になると、補正值 F_1 は補正值 F_1 の目標値にほぼ一致し、補正值 F_2 は補正值 F_2 の目標値にほぼ一致している。

20

【0111】

図11は、シミュレーションによって求めた補正值 G_1 , G_2 を示している。図11において、横軸は前記 n を示し、縦軸は補正值 G_1 , G_2 を示している。また、図11において、符号83を付した曲線は、補正值 G_1 を示している。符号84を付した曲線は、補正值 G_2 を示している。符号93を付した破線の直線は、補正值 G_1 の目標値を示している。符号94を付した破線の直線は、補正值 G_2 の目標値を示している。

【0112】

図11において、 n が1以上399以下の範囲内の補正值 G_1 , G_2 は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行しない場合の補正值 G_1 , G_2 すなわち補正值 G_1 , G_2 の初期値を表している。また、 n が400以上2000以下の範囲内の補正值 G_1 , G_2 は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行した場合の補正值 G_1 , G_2 を表している。図11に示したように、上記処理を実行することによって、補正值 G_1 は補正值 G_1 の目標値に収束し、補正值 G_2 は補正值 G_2 の目標値に収束している。 n が600以上になると、補正值 G_1 は補正值 G_1 の目標値にほぼ一致し、補正值 G_2 は補正值 G_2 の目標値にほぼ一致している。

30

【0113】

図12は、シミュレーションによって求めた補正值 D を示している。図12において、横軸は前記 n を示し、縦軸は補正值 D を示している。また、図12において、符号85を付した曲線は、補正值 D を示している。符号95を付した破線の直線は、補正值 D の目標値を示している。

40

【0114】

図12において、 n が1以上399以下の範囲内の補正值 D は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行しない場合の補正值 D すなわち補正值 D の初期値を表している。また、 n が400以上2000以下の範囲内の補正值 D は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行した場合の補正值 D を表している。図12に示したように、上記処理を実行することによって、補正值 D は補正值 D の目標値に収束している。 n が600以上になると、補正值 D は補正值 D の目標値にほぼ一致している。

50

【 0 1 1 5 】

図 1 3 は、シミュレーションによって求めた補正值 G_3 を示している。図 1 3 において、横軸は前記 n を示し、縦軸は補正值 G_3 を示している。また、図 1 3 において、符号 8 6 を付した曲線は、補正值 G_3 を示している。符号 9 6 を付した破線の直線は、補正值 G_3 の目標値を示している。

【 0 1 1 6 】

図 1 3 において、 n が 1 以上 3 9 9 以下の範囲内の補正值 G_3 は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行しない場合の補正值 G_3 すなわち補正值 G_3 の初期値を表している。また、 n が 4 0 0 以上 2 0 0 0 以下の範囲内の補正值 G_3 は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行した場合の補正值 G_3 を表している。図 1 3 に示したように、上記処理を実行することによって、補正值 G_3 は補正值 G_3 の目標値に収束している。 n が 6 0 0 以上になると、補正值 G_3 は補正值 G_3 の目標値にほぼ一致している。

10

【 0 1 1 7 】

図 1 4 は、シミュレーションによって求めた角度誤差を示している。図 1 4 において、横軸は前記 n を示し、縦軸は角度誤差を示している。図 1 4 において、 n が 1 以上 3 9 9 以下の範囲内の角度誤差は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行しない場合の角度誤差を表している。また、 n が 4 0 0 以上 2 0 0 0 以下の範囲内の角度誤差は、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行した場合の角度誤差を表している。図 1 4 に示したように、上記処理を実行することによって、角度誤差は 0 に収束している。 n が 6 0 0 以上になると、角度誤差はほぼ 0 になっている。

20

【 0 1 1 8 】

シミュレーションの結果から、適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定する処理を実行することによって、検出対象の角度 θ の変化の範囲が 360° 未満であっても、補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ をそれぞれの目標値に収束させることができ、その結果、角度誤差を低減することができることが分かる。

【 0 1 1 9 】

[第 2 の実施の形態]

次に、本発明の第 2 の実施の形態について説明する。始めに、図 1 5 を参照して、本実施の形態に係る補正装置の構成について説明する。本実施の形態に係る角度センサ 1 は、第 1 の実施の形態に係る補正装置 3 の代わりに、本実施の形態に係る補正装置 1 0 3 を備えている。図 1 5 は、補正装置 1 0 3 および角度検出部 4 の構成を示す機能ブロック図である。本実施の形態に係る補正装置 1 0 3 は、A / D 変換器 1 3 1, 1 3 2 と、補正処理部 1 3 3 と、指標値生成部 1 3 4 と、補正情報決定部 1 3 5 とを備えている。

30

【 0 1 2 0 】

A / D 変換器 1 3 1 は、第 1 の検出信号 S_1 をデジタル信号に変換する。A / D 変換器 1 3 2 は、第 2 の検出信号 S_2 をデジタル信号に変換する。補正処理部 1 3 3 は、A / D 変換器 1 3 1, 1 3 2 によってデジタル信号に変換された第 1 および第 2 の検出信号 S_1, S_2 を、角度検出部 4 において角度検出値 s を算出するための角度演算に用いられる第 1 の演算用信号 S_{1c} および第 2 の演算用信号 S_{2c} に変換する。補正処理部 1 3 3 の構成と動作は、第 1 の実施の形態における補正処理部 3 3 の構成と動作と同じである。

40

【 0 1 2 1 】

指標値生成部 1 3 4 は、第 1 の演算用信号 S_{1c} の二乗と第 2 の演算用信号 S_{2c} の二乗との和の平方根を求める演算を含む演算を行って、指標値 y を生成する。本実施の形態では、指標値生成部 1 3 4 は、下記の式 (2 2) によって、指標値 y を生成する。

【 0 1 2 2 】

$$y = \sqrt{(S_{1c}^2 + S_{2c}^2)} \quad \dots (22)$$

【 0 1 2 3 】

補正情報決定部 1 3 5 は、補正情報と対応関係を有する 1 つ以上の値を変数とした関数を用いて、指標値 y の推定値である推定指標値を生成すると共に、適応信号処理によって

50

、指標値 y と推定指標値との差が小さくなるように、補正情報を決定し、この補正情報を補正処理部 133 に与える。適応信号処理によって補正情報を決定する処理は、検出対象の角度 θ が変化する状況の下で実行される。

【0124】

以下、補正情報決定部 135 の構成と動作について詳しく説明する。補正情報決定部 135 の構成は、第 1 の実施の形態における図 5 に示した補正情報決定部 35 の構成と同じである。すなわち、補正情報決定部 135 は、推定誤差生成部 351 と、推定指標値生成部 352 とを含んでいる。推定誤差生成部 351 は、指標値 y と推定指標値との差である推定誤差 e を生成する。推定指標値生成部 352 は、推定指標値を生成すると共に、適応信号処理によって、推定誤差 e が小さくなるように、補正情報を決定する。推定指標値生成部 352 は、所定のタイミングで、その時点における補正情報を補正処理部 133 に与える。本実施の形態における補正情報は、第 1 の実施の形態と同様に、補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ である。第 1 の実施の形態と同様に、以下、補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ の集合を、補正情報 x_i とする。

10

【0125】

ここで、本実施の形態における補正関連情報ベクトル X を、以下のように定義する。補正関連情報ベクトル X は、第 1 の実施の形態における式 (4) に示したように、6 つの成分 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ を含んでいる。本実施の形態では、成分 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ は、それぞれ補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ を更新するための更新パラメータ $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ と等しい。従って、6 つの成分 $x_1 \sim x_6$ は、補正情報と対応関係を有する。6 つの成分 $x_1 \sim x_6$ は、補正情報決定部 135 が推定指標値を生成するために用いる前記関数の変数である「補正情報と対応関係を有する 1 つ以上の値」に対応する。

20

【0126】

本実施の形態では、補正情報決定部 135 が推定指標値を生成するために用いる前記関数を、第 1 の実施の形態と同様に、 $z^T X$ とする。 z は、第 1 の実施の形態における式 (5) に示したように、6 つの成分 $z_1 \sim z_6$ を含むベクトルである。成分 $z_1 \sim z_6$ は、それぞれ、第 1 の実施の形態における式 (6A) ~ (6F) によって表される。関数 $z^T X$ は、6 つの成分 $x_1 \sim x_6$ を変数とする関数であると共に、角度検出値 s を他の変数とする関数である。

30

【0127】

推定指標値生成部 352 は、6 つの成分 $x_1 \sim x_6$ すなわち更新パラメータ $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ と、角度検出値 s とを用いて、関数 $z^T X$ を計算して、推定指標値を算出する。角度検出値 s の生成方法は、第 1 の実施の形態と同様である。

【0128】

推定誤差生成部 351 は、指標値生成部 134 によって生成された指標値 y と、推定指標値生成部 352 によって生成された推定指標値を用いて、第 1 の実施の形態における式 (7) によって表される推定誤差 e を生成する。

【0129】

推定誤差 e を小さくする適応信号処理の内容は、基本的には、第 1 の実施の形態において図 8 を参照して説明した内容と同じである。適応信号処理では、検出対象の角度 θ が変化する状況の下、図 8 に示したステップ S101 ~ S106 からなる一連の処理が繰り返し実行される。以下の説明において、“N” は、上記一連の処理の実行回数を表している。

40

【0130】

本実施の形態では、ステップ S101 は、指標値生成部 134 によって実行される。指標値生成部 134 は、補正処理部 133 において補正処理を実行することによって変換された第 1 および第 2 の演算用信号 $S1c, S2c$ を用いて、前述の式 (22) によって、指標値 y_N を生成する。

【0131】

50

また、第1の実施の形態で説明したように、ステップS105では、補正関連情報ベクトル X の推定値 X_N が更新される。本実施の形態では、推定指標値生成部352は、上記推定値 X_N に基づいて更新パラメータ $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ を決定する。本実施の形態では、 X_N の6つの成分 $x_1 \sim x_6$ が更新パラメータ $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ になる。また、推定指標値生成部352は、更新パラメータ $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ に基づいて補正情報 x_i すなわち補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ を決定する。

【0132】

補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ は、例えば、推定値 X_N が更新される毎に更新される。この場合、推定指標値生成部352は、補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ を、下記の式(23A)～(23F)によって算出する。

【0133】

$$\begin{aligned} F_{1(N)} &= F_{1(N-1)} + F_1 \quad \dots (23A) \\ F_{2(N)} &= F_{2(N-1)} + F_2 \quad \dots (23B) \\ G_{1(N)} &= G_{1(N-1)} \cdot G_1 \quad \dots (23C) \\ G_{2(N)} &= G_{2(N-1)} \cdot G_2 \quad \dots (23D) \\ D_{(N)} &= D_{(N-1)} + D \quad \dots (23E) \\ G_{3(N)} &= G_{3(N-1)} + G_3 \quad \dots (23F) \end{aligned}$$

【0134】

式(23A)～(23F)における $F_{1(N)}, F_{2(N)}, G_{1(N)}, G_{2(N)}, D_{(N)}, G_{3(N)}$ は、それぞれ、N回目に更新された補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ を表し、 $F_{1(N-1)}, F_{2(N-1)}, G_{1(N-1)}, G_{2(N-1)}, D_{(N-1)}, G_{3(N-1)}$ は、それぞれN-1回目に更新された補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ を表している。推定指標値生成部352は、更新された補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ を保持する。なお、1回目の更新では、式(23A)～(23F)における $F_{1(N-1)}, F_{2(N-1)}, G_{1(N-1)}, G_{2(N-1)}, D_{(N-1)}, G_{3(N-1)}$ の代わりに、補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ の初期値を用いる。具体的には、補正值 F_1, F_2, D, G_3 のそれぞれの初期値は0であり、補正值 G_1, G_2 のそれぞれの初期値は1である。

【0135】

推定指標値生成部352が補正情報 x_i を補正処理部133に与えるタイミングは、第1の実施の形態で説明した、推定指標値生成部352が補正情報 x_i を補正処理部33に与えるタイミングと同じである。

【0136】

次に、本実施の形態に係る補正装置103と角度検出部4の動作を確認した第1および第2のシミュレーションの結果について簡単に説明する。第1のシミュレーションの具体的な内容は、第1の実施の形態におけるシミュレーションの内容と同様である。第1のシミュレーションでは、補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ のそれぞれについて目標値を設定し、本実施の形態における適応信号処理を用いて補正情報 x_i を決定することによって、補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ がそれぞれの目標値に収束するかどうかを確認した。本実施の形態においても、補正值 $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ をそれぞれの目標値に収束させることができることが確認された。また、第1のシミュレーションでは、角度検出値 s の角度誤差を求めた。本実施の形態においても、角度誤差が0に収束することが確認された。

【0137】

ところで、本実施の形態において得られる更新パラメータ $F_1, F_2, G_1, G_2, D, G_3$ は、第1の実施の形態における補正処理部33と同様の構成の仮定の補正処理部に、検出信号 $S1, S2$ の代わりに演算用信号 $S1c, S2c$ を入力したと仮定したときに、仮定の補正処理部が行う仮定の補正処理の内容を決定する補正情報とも言える。第2のシミュレーションでは、このような仮定の補正処理を行って新たな2つの演算用信号を生成した場合と、本実施の形態のように更新パラメータ $F_1, F_2, G_1,$

10

20

30

40

50

G_2 , D , G_3 によって更新された補正值 F_1 , F_2 , G_1 , G_2 , D , G_3 を用いて、補正処理部 133で補正処理を行って演算用信号 $S1c$, $S2c$ を生成した場合とで、角度検出値 s を比較した。その結果、2つの場合で、角度検出値 s にほとんど差は生じなかった。このことから、本実施の形態における補正処理部 133による補正処理が適切であることが確認された。

【0138】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

【0139】

なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、角度センサ1の外部の図示しない制御部が、検出対象の角度 θ を認識できる状況では、補正情報決定部35, 135は、関数 $z^T X$ の前記「他の変数」として、角度検出値 s の代わりに、上記制御部が認識している角度 θ を用いて推定指標値を生成してもよい。この状況は、例えば、制御部の指令によって角度 θ を変化させる場合や、制御部が角度 θ の情報を取得できる場合に得られる。

10

【0140】

また、本発明では、適応信号処理は、RLSアルゴリズムの代わりに、LMS (Least Mean Square) アルゴリズム等の他のアルゴリズムを用いてもよい。

【0141】

また、本発明は、磁気式の角度センサに限らず、光学式の角度センサ等を含む角度センサ全般に適用することができる。

20

【符号の説明】

【0142】

1...角度センサ、2...信号生成部、3...補正装置、4...角度検出部、5...磁石、10...第1の検出回路、20...第2の検出回路、14, 24...ブリッジ回路、31, 32...A/D変換器、33...補正処理部、34...指標値生成部、35...補正情報決定部、331...規格化部、332...位相補正部、333...高調波補正部、351...推定誤差生成部、352...推定指標値生成部。

【要約】

30

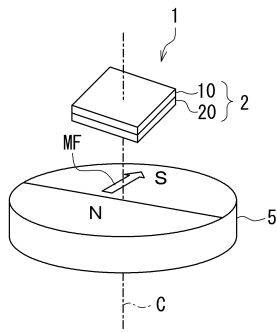
【課題】角度センサが、検出対象の角度の変化の範囲が 360° 未満であるシステムに用いられる場合であっても、角度検出値に生じる誤差を低減できるようにする。

【解決手段】角度センサの補正装置3は、補正処理部33と、指標値生成部34と、補正情報決定部35を備えている。補正処理部33は、複数の検出信号 $S1$, $S2$ に対して、補正情報によって内容が決定される補正処理であって、補正処理を行わない場合に比べて角度検出値 s の誤差を低減する補正処理を行う。指標値生成部34は、複数の検出信号 $S1$, $S2$ に基づいて、角度検出値 s の誤差と対応関係を有する指標値 y を生成する。補正情報決定部35は、補正情報と対応関係を有する1つ以上の値を変数とした関数を用いて、指標値 y の推定値である推定指標値を生成すると共に、適応信号処理によって、指標値 y と推定指標値との差が小さくなるように補正情報を決定する。

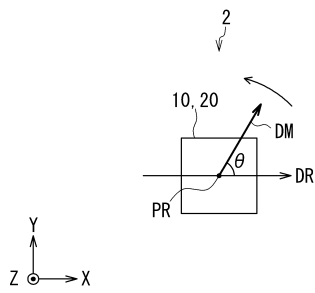
40

【選択図】図4

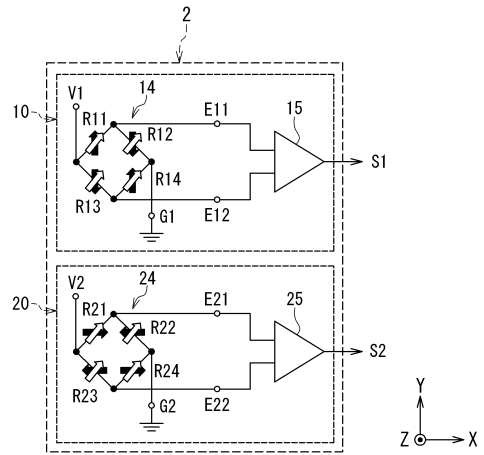
【図1】



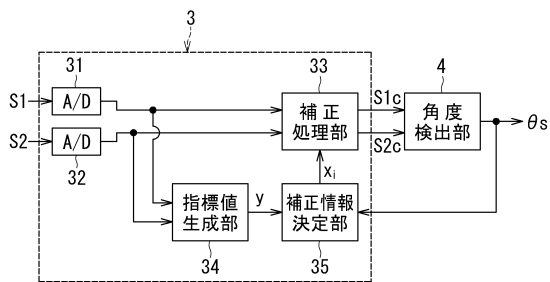
【図2】



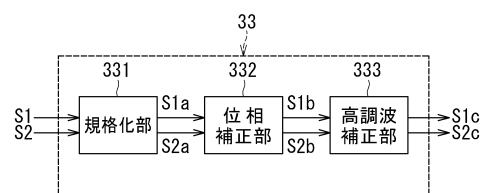
【図3】



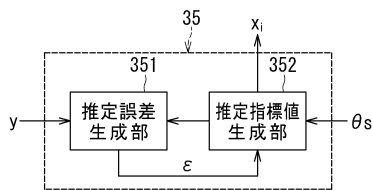
【図4】



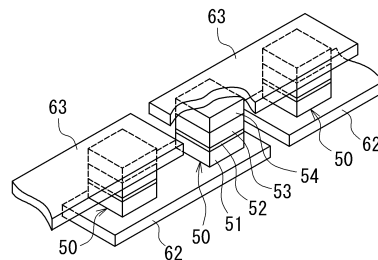
【図6】



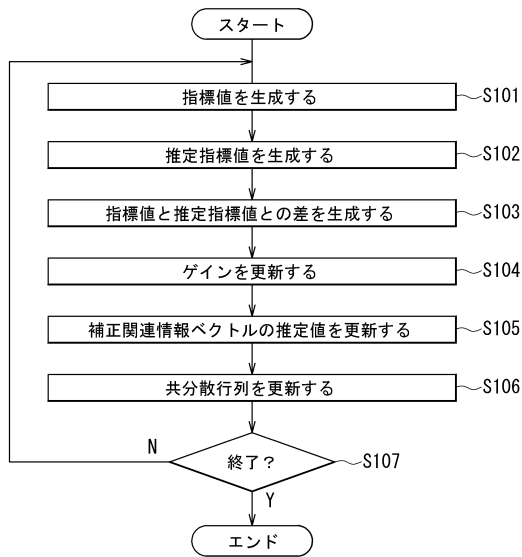
【図5】



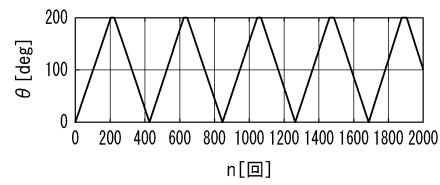
【図7】



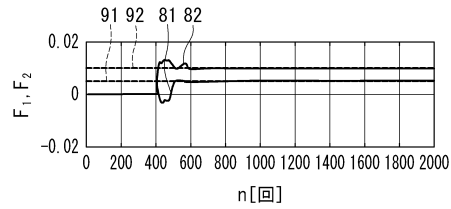
【図8】



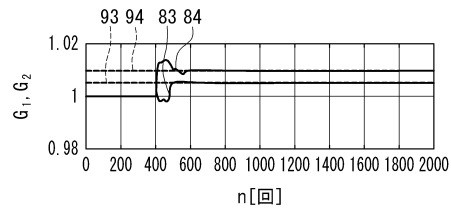
【図9】



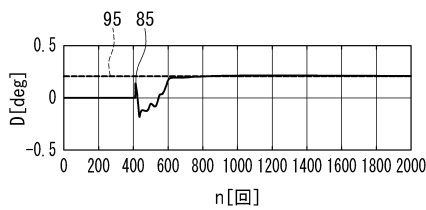
【図10】



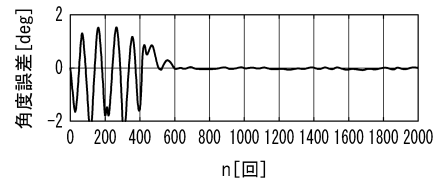
【図11】



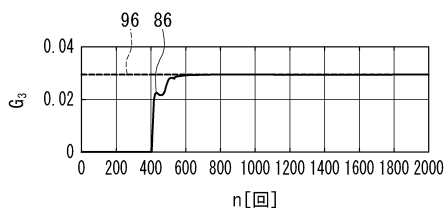
【図12】



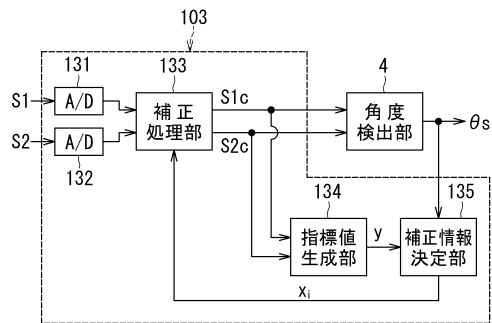
【図14】



【図13】



【図15】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-266758(JP,A)
特開2014-035203(JP,A)
国際公開第2013/076839(WO,A1)
米国特許出願公開第2015/0030104(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01D 5/12
G01D 5/16
G01D 5/244
G01B 7/30